

Wie sich Mensch und Technik sinnvoll ergänzen

Die **ANALYSE** automatisierter
Produktionssysteme mit KOMPASS

Gudela Grote, Toni Wäfler, Cornelia Ryser,

Steffen Weik, Martina Zölch, Anna Windischer

Weitere aktuelle vdf-Publikationen
finden Sie in unserem **Webshop**:

vdf.ch

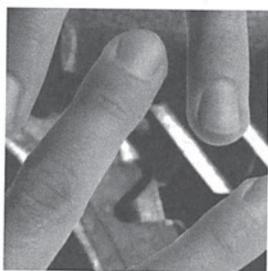
- › Bauwesen
- › Naturwissenschaften,
Umwelt und Technik
- › Informatik, Wirtschaftsinformatik und Mathematik
- › Wirtschaft
- › Geistes- und Sozialwissenschaften, Interdisziplinäres, Militärwissenschaft, Politik, Recht

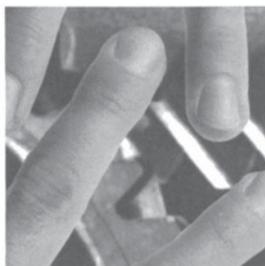
Gerne informieren wir Sie regelmässig per
E-Mail über unsere Neuerscheinungen.

Newsletter abonnieren

[Anmeldung auf vdf.ch](https://www.vdf.ch)

**Wie sich Mensch
und Technik
sinnvoll ergänzen**





v/dlf

Hochschulverlag AG
an der ETH Zürich

Gudela Grote, Toni Wäfler, Cornelia Ryser,
Steffen Weik, Martina Zölch, Anna Windischer

Wie sich Mensch und Technik sinnvoll ergänzen

**Die Analyse automatisierter
Produktionssysteme mit KOMPASS**

Mensch ■ Technik ■ Organisation

MTO ■ Band 19

Eine Schriftenreihe
herausgegeben
von Eberhard Ulich,
Institut für Arbeitsforschung
und Organisationsberatung

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Wie sich Mensch und Technik sinnvoll ergänzen :

die Analyse automatisierter Produktionssysteme
mit KOMPASS / Gudela Grote ... –

Zürich : vdf, Hochsch.-Verl. an der ETH, 1999
(Mensch, Technik, Organisation ; Bd. 19)

ISBN 978-3-7281-2387-0 (Printversion)

ISBN 978-3-7281-3953-5 (E-Book)

DOI-Nr. 10.3218/3953-5

Layout: Urs Laub

Das Werk einschliesslich aller seiner
Teile ist urheberrechtlich geschützt.
Jede Verwertung ausserhalb
der engen Grenzen des Urheber-
rechtsschutzgesetzes ist ohne Zustim-
mung des Verlages unzulässig und
strafbar. Das gilt besonders für
Vervielfältigungen, Übersetzungen,
Mikroverfilmungen und die Ein-
speicherung und Verarbeitung in
elektronischen Systemen.

ISBN 978-3-7281-2387-0 (Printversion)

ISBN 978-3-7281-3953-5 (E-Book)

DOI-Nr. 10.3218/3953-5

Inhaltsverzeichnis

VORWORT	1
---------------	---

Teil I: Grundlagen

1 ANLIEGEN DER METHODE KOMPASS	5
2 ALLGEMEINE THEORETISCHE GRUNDLAGEN VON KOMPASS	9
2.1 Aufgaben in automatisierten Arbeitssystemen:	
Gestaltungsanforderungen auf drei Analyseebenen	9
2.1.1 Mensch-Maschine-Funktionsteilung	10
2.1.2 Die individuelle Arbeitsaufgabe	12
2.1.3 Das Arbeitssystem	14
2.2 Strategien für die Aufgabenverteilung zwischen Mensch und Technik ...	16
3 DAS GESTALTUNGSPRINZIP DER KOMPLEMENTARITÄT	21
3.1 Grundlagen komplementärer Aufgabenverteilung zwischen Mensch und Technik	21
3.2 Methoden für eine komplementäre Aufgabenverteilung	23
4 DIE METHODE KOMPASS	27
4.1 Kriterien für komplementäre Systemgestaltung	30
4.1.1 Beschreibung der Kriterien	31
4.1.2 Empirische Überprüfung der KOMPASS-Kriterien	41
4.1.3 Beschreibung der untersuchten Arbeitssysteme anhand der KOMPASS-Kriterien	49

5 ANMERKUNGEN ZUM METHODISCHEN VORGEHEN BEI KOMPASS-ANALYSEN	53
5.1 Methoden der Datenerhebung in der Methode KOMPASS	54
5.2 Praktische Hinweise für die Datenerhebung	56

Teil II: Leitfaden

KURZE LESE- UND ARBEITSANLEITUNG	61
0 SYSTEMABGRENZUNG.....	63
0.1 Systemabgrenzung für die Analyse und Bewertung	63
1 ANALYSE	69
1.1 Beschreibung des Arbeitssystems	69
1.1.1 Untersuchtes Unternehmen	70
1.1.2 Untersuchtes Arbeitssystem	71
1.2 Beschreibung des Mensch-Maschine-Systems	74
1.2.1 Kennzeichnung der Person und der Arbeitsstelle	76
1.2.2 Technisches System	77
1.2.3 Beschreibung der Funktionen des Mensch-Maschine-Systems.....	80
1.2.4 Bestimmung der zu untersuchenden Arbeitsaufgabe und Mensch-Maschine-Funktionsteilung.....	87
1.2.5 Beschreibung der Arbeitsaufträge	89
1.2.6 Störungen	92

2 BEWERTUNG	93
2.1 Bewertung des Arbeitssystems	93
2.1.1 Vollständigkeit der Aufgabe des Arbeitssystems	95
2.1.2 Unabhängigkeit des Arbeitssystems	98
2.1.3 Passung von Regulationserfordernissen und -möglichkeiten	101
2.1.4 Polyvalenz der Mitarbeiter	105
2.1.5 Autonomie der Produktionsgruppen.....	108
2.1.6 Grenzregulation durch Vorgesetzte im Arbeitssystem	111
2.2 Bewertung der individuellen Arbeitsaufgabe	114
2.2.1 Ganzheitlichkeit der individuellen Arbeitsaufgabe	115
2.2.2 Denk- und Planungserfordernisse	118
2.2.3 Kommunikationserfordernisse.....	125
2.2.4 Lern- und Entwicklungsmöglichkeiten.....	129
2.2.5 Anforderungsvielfalt.....	132
2.2.6 Durchschaubarkeit der Arbeitsabläufe	134
2.2.7 Gestaltbarkeit der Arbeitsbedingungen.....	136
2.2.8 Zeitelastizität	139
2.3 Bewertung der Mensch-Maschine-Funktionsteilung.....	143
2.3.1 Prozesstransparenz	145
2.3.2 Kopplung.....	153
2.3.3 Autorität	165
2.3.4 Flexibilität	181
3 VERWENDUNG DER ERGEBNISSE.....	187
4 ÜBERSICHT ÜBER DIE ARBEITSBLÄTTER.....	189
LITERATUR	191
GLOSSAR.....	199

Vorwort

In diesem Buch werden Ergebnisse des Projekts KOMPASS (Komplementäre Analyse und Gestaltung von Produktionsaufgaben in soziotechnischen Systemen) vorgestellt. Das Projekt wurde von 1992 bis 1996 vom Zentrum für Integrierte Produktionssysteme der ETH Zürich (Leitung Prof. Dr. Eberhard Ulich) gefördert. Seit Frühjahr 1996 wird ein Nachfolgeprojekt von der Kommission für Technologie und Innovation (KTI) des Bundesamts für Berufsbildung und Technologie – Leistungsbereich Produktions- und Managementkonzepte (P&M) – gefördert. Ziele dieses Projektes sind, die im Projekt KOMPASS entwickelten Ansätze für die Gestaltung automatisierter Arbeitssysteme in die Praxis zu transferieren sowie die Analyse- und Gestaltungsmethode für Automatisierungsvorhaben im Bereich betrieblicher Planung weiterzuentwickeln. Für die langjährige und grosszügige Unterstützung der Projektarbeit möchten wir hiermit der ETH und der KTI sehr herzlich danken.

Die im Projekt KOMPASS erarbeiteten Konzepte und Methoden betreffen sowohl die Analyse als auch die Gestaltung von Arbeitssystemen auf der Grundlage des Prinzips der komplementären Systemgestaltung. Das vorliegende Buch will in dieses Prinzip einführen und es begründen. Darüber hinaus soll dargestellt werden, auf welche Weise automatisierte Arbeitssysteme analysiert werden können, um die Grundlage für eine Bewertung und gegebenenfalls für die Ableitung von Gestaltungsbedarf im Hinblick auf komplementäre Systemgestaltung zu schaffen. Eine solche Analyse kann durchgeführt werden, um ein bestehendes Arbeitssystem bezüglich Potential für eine Steigerung von Effizienz, Qualität und Sicherheit zu überprüfen. Vielfach wird die Analyse in ein Automationsvorhaben eingebettet sein, mit dem Ziel, wichtige Hinweise für die Modifikation oder Neuentwicklung eines Arbeitssystems zu erhalten.

Auf den Gestaltungsprozess wird in diesem Buch nur sehr allgemein und kurz eingegangen. Die dafür im Rahmen des Projekts KOMPASS erarbeitete Vorge-

hensweise wird in einem zweiten Buch („Wie sich Mensch und Technik sinnvoll ergänzen – Die *Gestaltung* automatisierter Produktionssysteme mit KOMPASS“ von Toni Wäfler, Anna Windischer, Cornelia Ryser, Steffen Weik und Gudela Grote) detailliert beschrieben. Dieses zweite Buch eignet sich auch für einen stärker praxisorientierten Einstieg in die Grundlagen komplementärer Systemgestaltung. Das Vorgehen bei der Systemanalyse wird dort ebenfalls in vereinfachter Form dargestellt. Vielfach wird allerdings eine vertiefte Analyse entlang dem im vorliegenden Buch beschriebenen Leitfaden wünschenswert sein, um eine hinreichend genaue Bewertung eines bestehenden Arbeitssystems vornehmen zu können.

An der Erarbeitung der in diesem Buch dargestellten Forschungsergebnisse waren über die Jahre eine Reihe von Personen beteiligt, deren Beitrag in der Liste der AutorInnen nicht oder nicht angemessen dokumentiert werden kann. Steffen Weik und Martina Zölch haben die KOMPASS zugrundeliegenden Konzepte wesentlich mitgestaltet, haben aber die letzte Realisation aus Aussenperspektive erlebt, da sie sich noch während der Laufzeit der Projekte neuen Aufgaben ausserhalb des Instituts für Arbeitspsychologie zugewandt haben. Cornelia Ryser und Anna Windischer haben vor allem diese Realisierungsphase mitgeprägt. In den ersten Projektphasen wurde unsere Arbeit zusätzlich durch externe Beratung von Heiner Dunckel, Projektleiter bei der Entwicklung des KABA-Leitfadens („Kontrastive Analyse von Büroarbeit“; Dunckel, Volpert, Zölch, Kreutner, Pleiss & Hennes, 1993) sehr bereichert. Eric Louis hat als wissenschaftlicher Mitarbeiter die ersten vorbereitenden und konzeptionellen Schritte des Projekts unterstützt. Regula Brenner, Michael Derrer, Sibylle Frei, Gabi Leuthard und Elena Tremante haben als studentische MitarbeiterInnen bei der Datenerhebung mitgewirkt. Dank gebührt auch verschiedenen Kollegen und Kolleginnen, die uns durch wertvolle Anregungen bei der Endredaktion des Buches unterstützt haben. Schliesslich sei Georg Schaffer, Daniel Isler und Urs Laub gedankt, die mithalfen, unsere Manuskripte in druckfertige Vorlagen umzusetzen. Einige Formatierungsmängel konnten mit dem eingesetzten Textverarbeitungsprogramm nicht behoben werden. Die LeserInnen mögen uns diese kleinen Schönheitsfehler nachsehen.

Zürich, im Juli 1999

Gudela Grote

Teil I:
Grundlagen

1 Anliegen der Methode KOMPASS

Produktionsprozesse sind zunächst durch Mechanisierung, in den letzten Jahrzehnten auch durch Automatisierung grundlegend verändert worden. Der Anteil menschlicher Arbeit hat drastisch abgenommen, und die für den Menschen verbleibenden Aufgaben sind grundsätzlich anderer Natur als in nicht automatisierten Produktionsprozessen. Der Arbeitswissenschaftler Sheridan (1987) hat für die neuen Anforderungen den Begriff „supervisory control“, überwachende Kontrolle, geprägt. Menschen¹ sind in vielen Produktionsprozessen zu Überwachen einer von anderen Menschen entwickelten Technik geworden. Im Normalfall sollte diese Technik die meisten oder sogar alle Operationen weitestgehend autonom ausführen. Nur im Störfall, d.h. bei Ausfall der Technik oder einzelner ihrer Komponenten, und in Ausnahmefällen, für die die Technik nicht ausgelegt ist, sind Eingriffe des Menschen in den Prozess gefordert. Der Mensch ist also vor allem als kreativer Problemlöser für diejenigen Fälle gefragt, die nicht vollständig spezifiziert und algorithmisiert und damit auch nicht gänzlich der Technik übergeben werden können.

Intention der Technikentwicklung ist es, solche Störungs- und Ausnahmefälle und damit auch die vom Menschen geforderten Funktionen zu minimieren. Die Problematik dieses Vorgehens und das grundlegende Dilemma, dass gerade durch seinen weitestmöglichen Ausschluss aus dem Produktionsprozess dem Menschen sehr kritische, aber letztlich nicht bewältigbare Aufgaben übertragen werden, ist eindringlich von Bainbridge unter dem Titel „Ironien der Automation“ beschrieben worden (Bainbridge, 1982):

„(...) das automatische Kontrollsystem ist eingeführt worden, weil es die Aufgabe besser erfüllen kann als der Operateur, und doch wird vom Operateur verlangt,

¹ Der Lesefreundlichkeit halber wird im vorliegenden Buch durchgehend die männliche Form benützt. Dabei sind jedoch selbstverständlich immer sowohl Frauen als auch Männer gemeint.

dass er das richtige Funktionieren des Systems überwacht. (...) wenn die Entscheidungen vollständig spezifiziert werden können, kann der Computer sie schneller treffen, unter Berücksichtigung von mehr Entscheidungen und genauer spezifizierten Kriterien im Vergleich zu dem, was ein Mensch könnte. Daher ist es unmöglich, dass der menschliche Operateur unmittelbar überprüfen kann, ob der Computer seinen eigenen Regeln korrekt folgt. Man kann deshalb vom Operateur nur erwarten, dass er die Entscheidungen des Computers auf einer Meta-Ebene überwacht, um festzustellen, ob die Entscheidungen des Computers 'akzeptabel' sind. Falls der Computer für die Entscheidungen eingesetzt wird, weil menschliche Urteilskraft und intuitives Schlussfolgern dem jeweiligen Kontext nicht angemessen sind, fragt sich, welche der Entscheidungen akzeptiert werden sollte? Der menschliche Überwacher hat eine unmögliche Aufgabe erhalten“ (Bainbridge, 1982, S. 130-131; Übersetzung G.G. et al.).

Neben diesem Problem der grundsätzlichen Intransparenz komplexer technischer Systeme, die als Ersatz für menschliches Denken und Handeln konzipiert wurden, kommt erschwerend hinzu, dass rasche und fehlerfreie Eingriffe vom Menschen gerade dann gefordert sind, wenn er psychisch und physisch am wenigsten dafür bereit ist: unter allgemein höherer Belastung durch die Störungssituation, unter Umständen durch lange monotone Überwachungsphasen ermüdet und in den Funktionen ungeübt, da sie im Normalfall vom technischen System übernommen werden.

Das Anliegen von KOMPASS ist es, Technikentwickler dabei zu unterstützen, technische Systeme so zu konzipieren, dass solche „Ironien der Automation“ minimiert werden. Dazu ist ein Analyseinstrumentarium nötig, das Symptome wie auch Ursachen unangemessener Systemgestaltung in bestehenden Arbeitssystemen erkennen hilft. Wichtiger noch ist allerdings die Unterstützung bei der Entwicklung automatisierter Arbeitssysteme, um prospektive Systemgestaltung zu ermöglichen, die die Kontrolle des Menschen über die Technik sicherstellt. Der vorliegende Leitfaden ist in erster Linie als Hilfestellung für die Analyse bestehender Systeme konzipiert. Das konkrete Vorgehen bei Gestaltungsprozessen ist Thema des zweiten Bandes zur Methode KOMPASS („Wie sich Mensch und Technik sinnvoll ergänzen – Die *Gestaltung* automatisierter Produktionssysteme mit KOMPASS“ von Toni Wäfler, Anna Windischer, Cornelia Ryser, Steffen Weik und Gudela Grote).

Der Fokus von KOMPASS ist die Aufgabenverteilung zwischen Mensch und Technik, wobei auch die Aufgabenverteilung zwischen Menschen einbezogen wird, um beherrschbare technische Systeme, sinnvolle und motivierende Aufgaben für die Operateure dieser Systeme und möglichst selbstregulierte Abläufe im gesamten Arbeitssystem entwickeln zu können. Zudem ist KOMPASS mit Blick auf Produktionsprozesse in der Stückproduktion, besonders der metallver-

arbeitenden Industrie, entwickelt worden. Meist sollten aber auch angrenzende Organisationsbereiche, z.B. Konstruktion, Arbeitsvorbereitung, Produktionsplanung und -steuerung sowie Qualitätssicherung, in die Analyse wie auch den Gestaltungsprozess einbezogen werden, um die Optimierung der Arbeitsprozesse zu erreichen. Die Grundideen von KOMPASS sind auch auf diese Bereiche wie auch auf die Prozessfertigung übertragbar, der vorliegende Analyseleitfaden ist dafür aber zu adaptieren.

2 Allgemeine theoretische Grundlagen von KOMPASS

Bevor auf das Gestaltungsprinzip von KOMPASS, die komplementäre Systemgestaltung, näher eingegangen wird, sollen zunächst Merkmale der Aufgaben in automatisierten Arbeitssystemen und daraus abgeleitete Gestaltungsanforderungen beschrieben und gängige Strategien für Entscheidungen zur Aufgabenverteilung zwischen Mensch und Technik vorgestellt werden.

2.1 Aufgaben in automatisierten Arbeitssystemen: Gestaltungsanforderungen auf drei Analyseebenen

Im folgenden werden drei Analyseebenen unterschieden, die zunächst definiert und voneinander abgegrenzt werden sollen. Die *Ebene der Mensch-Maschine-Funktionsteilung* beinhaltet die Interaktion zwischen einem Menschen und dem technischen System bzw. den technischen Systemen, für dessen/deren Steuerung und Überwachung ersterer (mit)verantwortlich ist. Die *Ebene der individuellen Arbeitsaufgabe* schliesst alle vom Menschen auszuführenden Aufgaben ein, d.h. sowohl Aufgaben, die direkt die Interaktion mit bestimmten technischen Systemen betreffen, als auch von diesen Systemen relativ unabhängige Aufgaben wie beispielsweise Arbeitszeitplanung in einer Produktionsgruppe. Die *Ebene des Arbeitssystems* schliesslich betrifft nicht mehr einen einzelnen Menschen und seine Aufgaben, sondern grössere organisatorische Einheiten, die mehrere Personen bzw. mehrere Mensch-Maschine-Systeme umfassen. Zur Systemabgrenzung kann das Konzept der *Primäraufgabe* genutzt werden, d.h. alle für die Bewältigung einer abgrenzbaren, überindividuellen Aufgabe – z.B. Fertigung eines

bestimmten Produktespektrums – nötigen Personen, Materialien, technischen Anlagen etc. werden einbezogen.

2.1.1 Mensch-Maschine-Funktionsteilung

Die arbeitswissenschaftlich zentrale Frage bei der Gestaltung automatisierter Mensch-Maschine-Systeme, insbesondere der Mensch-Maschine-Funktionsteilung, ist die der Unterstützung des Menschen bei seiner *Rolle als „human supervisor“*. Sheridan (1987) hat fünf Aufgaben beschrieben, die der Mensch grundsätzlich in diesen Systemen zu erfüllen hat:

- (1) Planen off-line, welche Aufgabe wann zu tun ist;
- (2) Programmieren der Technik auf der Basis der Planung;
- (3) Überwachen der automatischen Prozesse on-line, um sicherzustellen, dass die Planung eingehalten wird, und um Fehler zu entdecken;
- (4) Eingreifen, d.h. der „supervisor“ übernimmt die Kontrolle, wenn das Ziel erreicht ist, oder er unterbricht die automatische Kontrolle in Notfällen, um einen neuen Zielzustand zu definieren oder ein Verfahren umzuprogrammieren;
- (5) Lernen aus Erfahrung, um zukünftig die Leistung zu verbessern.

Damit ein Operateur diese Aufgaben übernehmen kann, sind die Voraussetzungen für *menschliche Kontrolle über die Technik* zu schaffen. Kontrolle ist nicht nur unmittelbar für die effiziente und sichere Prozesssteuerung und -überwachung relevant, sondern auch mittelbar, indem erlebte Kontrolle in einer Situation eine wesentliche Voraussetzung für die möglichst stressfreie Bewältigung der in der Situation gestellten Anforderungen ist (vgl. z.B. Frese, Greif & Semmer, 1978; Karasek & Theorell, 1990). Kontrolle ist schliesslich Vorbedingung für eine sinnvolle Verantwortungsübernahme und Nutzung von Autonomie durch den Operateur.²

In Anlehnung an Kontrolltheorien in Psychologie und Systemtheorie können drei Aspekte von Kontrolle unterschieden werden (vgl. z.B. Brehmer, 1993;

² Autonomie kennzeichnet die Möglichkeit der selbstbestimmten Zielsetzung und Regelfestlegung, während Kontrolle als Möglichkeit der Beeinflussung einer Situation zur Erreichung bestimmter Ziele definiert wird (vgl. Grote, 1997).

Ganster & Fusilier, 1989; Osnabrügge, Stahlberg & Frey, 1985; Thompson, 1981; Troy, 1981):

- die *Durchschaubarkeit* des zu kontrollierenden Systems,
- die *Vorhersehbarkeit* seines Verhaltens und
- die Möglichkeiten der *Einflussnahme*.

Diese Aspekte sind nicht unabhängig voneinander, sondern beeinflussen einander in der Form, dass Durchschaubarkeit und Vorhersehbarkeit als Voraussetzungen für eine sinnvolle Nutzung von Einflussmöglichkeiten zu sehen sind, während umgekehrt die aktive Beeinflussung eines Systems seine Durchschaubarkeit und Vorhersehbarkeit fördert.

Hinsichtlich der Durchschaubarkeit und Vorhersehbarkeit des Systemverhaltens werden vor allem die Bedeutung mentaler Modelle des Systems – d.h. kognitiver Repräsentationen der für die Kontrolle des Systems relevanten Zustände und Prozesse – und die Möglichkeiten zu deren Aufbau und Erhalt diskutiert (vgl. z.B. Kluwe, 1990; Oschanin, 1976; Rogers, Rutherford & Bibby, 1992). Für die Gestaltung von Mensch-Maschine-Systemen ist also zu fragen, wie Bildung und Erhalt eines für die Aufgabenstellung des Operateurs angemessenen mentalen Modells der Anlagen und Prozesse, die zu steuern und überwachen sind, gefördert werden können. Dabei sind einerseits Aus- und Weiterbildung angesprochen (vgl. z.B. Sonntag, 1990), andererseits aber auch die Gestaltung der technischen Systeme selbst, wobei bei fehlender formaler Ausbildung und dominantem on-the-job-training die Systemgestaltung besondere Bedeutung erhält. Durch die Systemgestaltung – in Verbindung mit den in den folgenden Abschnitten behandelten organisationalen Bedingungen – werden die Einflussmöglichkeiten und damit die auch für Aus- und Weiterbildung relevanten Möglichkeiten der praktischen Auseinandersetzung mit dem System festgelegt (vgl. z.B. Duncan, 1981).

Viele *Bestandteile aufgabenangemessener mentaler Modelle* scheinen eher auf – oftmals implizitem, d.h. leistungswirksamem, aber nicht verbalisierbarem – Erfahrungswissen als auf theoretischem Wissen aufzubauen (z.B. Bainbridge, 1981). Auch daraus wird nochmals die Bedeutung der Systemgestaltung im Vergleich zur Ausbildung deutlich, denn dieses Wissen basiert auf der durch „subjektivierendes“ Arbeitshandeln gewonnenen persönlichen Erfahrung in der konkreten Arbeitssituation (Böhle & Rose, 1992). Wesentlich für das subjektivierende Arbeitshandeln sind dialogisch-interaktives Vorgehen, intuitiv assoziatives Denken und komplexe sinnliche Wahrnehmung. Mit zunehmender Auto-

matisierung wird diese Art des Handelns erschwert, da Prozesse weitgehend abgekapselt werden und damit weder beeinflussbar noch sinnlich erfahrbar sind. In einigen Gestaltungsansätzen wurde versucht, die sinnliche Erfahrbarkeit durch verbesserte visuelle oder akustische Prozessinformation zu erhöhen (z.B. Kullmann, Pascher & Rentzsch, 1992). Allerdings ist die Bedeutung der sinnlichen Wahrnehmung per se, besonders im Vergleich mit den Möglichkeiten einer aktiven Prozessbeeinflussung, zu relativieren (z.B. Volpert, 1994). Die Erforschung neuer Arten des Gewinns von Erfahrungswissen unter den Bedingungen vorrangig informatorisch vermittelter Prozessdaten steht grösstenteils noch aus. Erste Fallstudien dazu finden sich allerdings bereits bei Zuboff (1988), die den Begriff der „Informatisierung“ in Abgrenzung zur Automatisierung geprägt hat, um die neuen Möglichkeiten von Prozessverständnis und -beeinflussung auf der Basis der durch die neue Technik vorhandenen und potentiell zugänglichen Prozessdaten zu kennzeichnen.

2.1.2 Die individuelle Arbeitsaufgabe

Um die menschlichen Aufgaben in Mensch-Maschine-Systemen angemessen zu gestalten, werden Anforderungen, die an den Menschen gestellt sind, sowie Möglichkeiten der Unterstützung – besonders wiederum technischer Unterstützung – bei der Erfüllung dieser Anforderungen spezifiziert. Der Mensch wird in vielen Gestaltungsansätzen aber nicht als Individuum konkretisiert; es bleibt unklar, ob alle Anforderungen von einem einzelnen Individuum oder von mehreren Personen zu erfüllen sind und wie die Aufgaben zwischen diesen Personen im einzelnen verteilt sind (z.B. Sheridan, 1987). Wenn aber die Kontrolle des Operateurs über die von ihm zu steuernde und zu überwachende Technik die zentrale Forderung ist und in diesem Zusammenhang die Ausbildung mentaler Modelle und die Eingriffsmöglichkeiten von grösster Bedeutung sind – was beides in hohem Ausmass von den insgesamt zu bewältigenden Aufgaben abhängt –, dann kann bei der Planung der Unterstützung dieses Operateurs nicht abstrakt von einem menschlichen „supervisor“ ausgegangen werden. Ein Operateur, der ein System nicht nur überwacht, sondern auch programmiert, Störungen selbst behebt, Korrekturen in den Abläufen vornimmt und die Planung der Arbeitsprozesse übernimmt, erhält gänzlich andere Voraussetzungen und bedarf einer anderen Unterstützung als der Operateur, der im anderen Extrem ausschliesslich für die Überwachung zuständig ist (z.B. De Keyser, 1987). Die Frage des Aufgabenzuschnitts darf nicht als bereits beantwortet vorausgesetzt oder

ausgeblendet werden, sie muss explizit in Überlegungen zur Gestaltung von Mensch-Maschine-Systemen einbezogen werden.

Viele Überlegungen zur Arbeitsgestaltung in hochautomatisierten Produktionssystemen setzen bei den Bedingungen an, die aufgrund der physischen und psychischen Grundeigenschaften des Menschen gegeben sein müssen, damit Menschen die an sie gestellten Anforderungen erfüllen können. Dabei ist besonders die Problematik der Vigilanz angesprochen und die daraus abgeleitete Forderung, durch die Art der Aufgabenverteilung in einem Arbeitssystem dem Operateur eine *aktive Rolle* zuzuweisen (z.B. Ephrath & Young, 1981; Johansson, 1989). Eine zweite wesentliche Frage ist die, wie bei zunehmender Reduktion des Aufgabenspektrums durch Automatisierung noch in sich *sinnvolle Aufgaben* für den Operateur geschaffen werden können. Untersuchungen der Effekte höherer Automatisierung haben immer wieder den Gestaltungsspielraum aufgezeigt, sowohl in Richtung einer Vereinfachung und Dequalifizierung menschlicher Arbeit in diesen Arbeitssystemen als auch in Richtung der Schaffung höherqualifizierter Tätigkeiten (z.B. Boffo, Fix-Sterz, Schneider und Wengel, 1988; Konradt & Zimolong, 1993; Majchrzak, 1988; Wall, Clegg, Davies, Kemp & Mueller, 1987; Ulich, 1998). Es geht also darum, Bedingungen und Möglichkeiten für den zweiten Fall aufzuzeigen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass das „Idealbild“ einer Arbeitstätigkeit sich sicher nicht mehr an *handwerklichen* Aufgaben und Arbeitsbedingungen orientieren kann, sondern neue Formen vollständiger und qualifizierter Aufgaben definiert werden müssen.

Emery hat bereits 1959 mit Verweis auf Erfahrungen aus den ersten am soziotechnischen Systemansatz orientierten Studien darauf hingewiesen, dass höher automatisierte Produktionssysteme „empfindlicher“ hinsichtlich diverser Störungen sind und daher Systemoperation und -unterhalt zusammengeführt und den Systemoperatoren übergeben werden sollten. Durch diese Art der Aufgabenumverteilung würde auch die Autonomie der Operateure und ihre Kontrolle über die Arbeitssituation erhöht. Mehrere Untersuchungen von Wall und Mitarbeitern (z.B. Jackson & Wall, 1991; Wall, Jackson & Davids, 1992) ergaben genau die von Emery vorhergesagten positiven Effekte im Sinne kürzerer Stillstandszeiten und einer geringeren Störanfälligkeit durch mehr präventive Eingriffe der Operateure, besonders in Arbeitssystemen mit hoher technisch bedingter Unsicherheit. Eine weitere Anreicherung der Arbeitstätigkeiten besteht in der zum Beispiel von Friedrich (1993; siehe auch Johansson, 1989) vorgeschlagenen stärkeren Integration der Systemoperateure in die längerfristige Weiterentwicklung der technisch-organisatorischen Produktionsbedingungen. Dies sollte nicht nur im Rahmen des relativ weit verbreiteten Vorschlagswesens oder

sporadischer Qualitätszirkel ermöglicht, sondern explizit als Teil der „normalen“ Arbeitstätigkeit betrachtet und durch entsprechende organisatorische Massnahmen, z.B. häufigere Gruppensitzungen mit allen an der Produktion beteiligten Mitarbeitern, unterstützt werden.

Schliesslich ist zu berücksichtigen, dass Aufgaben nicht notwendigerweise immer einem einzelnen Operateur zugewiesen werden (sollten), sondern auch einer für ein Produktionssystem verantwortlichen Gruppe gesamthaft übertragen werden können. Susman (1970, 1976) hat bei Arbeitstätigkeiten in hochautomatisierten Systemen die generelle Verschiebung weg von den Transformationsprozessen hin zur Regulation der Systemgrenzen beschrieben. Er argumentierte schon damals, dass diese Art von Aufgaben, die ein hohes Mass an Bewältigung von Unsicherheiten durch nicht vorhersehbare Schwankungen und Störungen erfordert, am ehesten in einer Arbeitsgruppe bewältigt werden kann, in der jedem Mitglied bestimmte Anteile der Grenzregulation flexibel zugeteilt werden und die Mitglieder ihre Aufgaben durch gegenseitige Absprachen selbstregulierend koordinieren.

Grundsätzlich ist also ein anderes Rollenverständnis gefordert: Der Operateur ist nicht (mehr) „Maschinenbediener“, sondern *Systemmanager*, der sich fortlaufend innerhalb seiner Gruppe, aber auch mit vor- und nachgelagerten Stellen abstimmen muss.

2.1.3 Das Arbeitssystem

Inwieweit tatsächlich vollständige Arbeitstätigkeiten für Operateure geschaffen werden können, hängt wesentlich von der Gestaltung des Arbeitssystems, in dem sie arbeiten, ab. Wenn beispielsweise Programmierung und Instandhaltung anderen Organisationseinheiten im Unternehmen zugeordnet sind, ist die Anreicherung der individuellen Arbeitstätigkeiten mit diesen Funktionen erschwert bis unmöglich.

Ulich (1998) hat zwischen *arbeits- und technikorientierter Gestaltung* von Arbeitssystemen wie auch von ganzen Unternehmen unterschieden (vgl. Tabelle 1). Diese Unterscheidung geht letztlich – auf der Grundlage soziotechnischer Gestaltungsprinzipien (vgl. z.B. Emery, 1959; Susman, 1976) – von den Anfor-

derungen an den einzelnen Operateur in einem automatisierten Produktionssystem aus und leitet daraus Organisationsprinzipien für das gesamte Unternehmen oder zumindest für produktionsnahe Organisationsbereiche ab.

	Technikorientierte Gestaltungskonzepte → Technikgestaltung	Arbeitsorientierte Gestaltungskonzepte → Arbeitsgestaltung
Mensch-Maschine-Funktionsteilung	Operateure übernehmen nicht automatisierte Resttätigkeiten	Operateure übernehmen ganzheitliche Aufgaben von der Arbeitsplanung bis zur Qualitätskontrolle
Allokation der Kontrolle im Mensch-Maschine-System	Zentrale Kontrolle Aufgabenausführung durch Rechnervorgaben inhaltlich und zeitlich festgelegt. Keine Handlungs- und Gestaltungsspielräume für Operateure	Lokale Kontrolle Aufgabenausführung nach Vorgaben der Operateure innerhalb definierter Handlungs- und Gestaltungsspielräume
Allokation der Steuerung	Zentralisierte Steuerung durch vorgelagerte Bereiche	Dezentralisierte Steuerung im Fertigungsbereich
Informationszugang	Uneingeschränkter Zugang zu Informationen über Systemzustände nur auf der Steuerungsebene	Information über Systemzustände vor Ort jederzeit abrufbar
Zuordnung von Regulation und Verantwortung	Regulation der Arbeit durch Spezialisten, z.B. Programmierer, Einrichter	Regulation der Arbeit durch Operateure mit Verantwortung für Programmier-, Einricht-, Feinplanungs-, Überwachungs- und Kontrolltätigkeiten

Tabelle 1: Vergleich unterschiedlicher Konzepte für die Gestaltung rechnergestützter Arbeitstätigkeiten (aus Ulich, 1998)

Arbeitsorientierte Gestaltung beinhaltet die *Integration von menschlichen Ressourcen, Technologie und Organisation* (bei Ulich, 1998, beispielsweise kurz MTO-Ansatz genannt) mit dem Ziel, das Arbeitssystem zur lokalen Bewältigung von Schwankungen und Störungen zu befähigen (vgl. auch Grote, 1997). Solche Schwankungen und Störungen erwachsen aus den Transformationsprozessen wie aus der Systemumwelt und sind unvermeidlicher Bestandteil komplexer, hochautomatisierter und betriebsintern wie zwischenbetrieblich vernetzter Produktionssysteme. Misserfolge neueren Datums bei Einführung von CIM-Technologien haben gezeigt, dass vielfach noch technikorientierte Ansätze ver-

folgt werden, die nicht nur die angemessene Bewältigung von Schwankungen und Störungen hemmen, sondern durch einseitige Anpassung von Organisation an Technik auch zusätzliche, eigentlich unnötige, Schwankungen und Störungen produzieren (vgl. z.B. Kidd & Karwowski, 1994; Ulich, 1998).

Eine arbeitsorientierte Integration von Mensch, Technik und Organisation gelingt am ehesten durch dezentrale Strukturen mit einem hohen Grad an funktionaler Integration, d.h. einer Zusammenführung verschiedener Unternehmensfunktionen wie Entwicklung, Planung, Fertigung, Qualitätskontrolle etc., und durch ein hohes Mass an Selbstregulation in den primären Arbeitssystemen, wie Untersuchungen wiederholt aufgezeigt haben (z.B. Majchrzak, 1988; Schüpbach, 1994; Ulich, 1998; Wall, Clegg & Kemp, 1987).

2.2 Strategien für die Aufgabenverteilung zwischen Mensch und Technik

Mit Bezug auf Bailey (1989) können fünf gängige Strategien der Aufgabenverteilung zwischen Mensch und Technik bzw. Allokationskriterien unterschieden werden (siehe Tabelle 2), denen jeweils unterschiedliche Menschen- und Technikbilder zugrundeliegen (zur Bedeutung solcher „Bilder“ in der Systemgestaltung vgl. z.B. Hirschheim & Klein, 1989; siehe auch Weik, 1993).

Strategie	Allokationskriterium	Menschenbild	Technikbild
Wenn Rekrutierung, Schulung und Entlohnung eines Menschen billiger sind, wird die Aufgabe dem Menschen übergeben. Wenn der Kauf oder die Entwicklung eines technischen Systems billiger ist, wird die Aufgabe automatisiert.	Minimale Kosten	Kostenfaktor	Kostenfaktor
Soweit irgend möglich, wird automatisiert. Die Aufgaben, deren Automation nicht möglich oder letzten Endes doch zu teuer ist, werden dem Menschen übertragen.	Maximale Automation	Störfaktor	Garant für Effizienz und Sicherheit

Anhand von Annahmen über menschliche Fähigkeiten und Begrenzungen sowie – wachsende – technische Möglichkeiten wird für jede Funktion ein Vergleich vorgenommen und die Funktion entsprechend dem vermuteten Leistungsvorteil verteilt.	Leistungsvergleich	konkurrierender Leistungsfaktor	konkurrierender Leistungsfaktor
Menschliche Aufgaben werden so konzipiert, dass sinnvolle, menschengerechte und motivierende Aufgaben entstehen. Technik dient als Unterstützung. Die Funktionen, die unter diesem Gesichtspunkt nicht vom Menschen übernommen werden sollten, werden möglichst automatisiert.	Menschengerechte Aufgaben	wertvolle Resource	Unterstützung des Menschen
Funktionen sollen redundant bei Mensch und technischem System vorhanden sein, so dass Funktionszuweisungen flexibel anhand der Anforderungen der Situation vom Menschen – bei sehr hohen Belastungen des Menschen u.U. auch vom technischen System – entschieden werden können.	Situationsangepasste Flexibilität	wertvolle Resource	wertvolle Resource

Tabelle 2: Strategien und Allokationskriterien für die Aufgabenverteilung zwischen Mensch und Technik (in Anlehnung an Bailey, 1989)

Übergeordnetes Kriterium bei der Aufgabenverteilung zwischen Mensch und Technik ist zumindest in Wirtschaftsunternehmen sicher immer die Wirtschaftlichkeit. Bei einer auf *minimale Kosten* abzielenden Strategie wird vielfach aber mit einem zu engen Wirtschaftlichkeitsbegriff operiert und die Realisierbarkeit technischer Lösungen überschätzt. Hohe Fehlinvestitionen in übertechnisierte Systeme sind die Folge, was zu einer wachsenden Skepsis gegenüber technischer Machbarkeit geführt hat.

Diese Skepsis betrifft auch die zweite Strategie, die Strategie der *maximalen Automation*, die darauf abzielt, grundsätzlich möglichst viele Funktionen eines Systems zu automatisieren. Der Arbeitswissenschaftler Sheridan hat dazu formuliert: „Es scheint, dass in der nächsten Zukunft unser Schicksal sein wird, atemlos dem technischen Fortschritt hinterherzulaufen und alles zu versuchen,

um aufzuholen“ (Sheridan, 1987, S. 1265; Übersetzung G.G. et al.). Dieser Satz scheint symptomatisch für einen Ansatz, der letztlich dazu führt, den Menschen nur dort als relevant zu sehen, wo Technik (noch) keine Lösungen anzubieten hat. Misserfolge im Bereich der künstlichen Intelligenz, besonders bei der Entwicklung von Expertensystemen (vgl. z.B. Dreyfus & Dreyfus, 1986), wie auch beim Einsatz integrierter Produktionstechnologie (vgl. z.B. Schüpbach, 1994; Ulich, 1998), haben dazu beigetragen, dass die Hoffnungen hinsichtlich technischer Machbarkeit bis hin zum vollständigen Ersatz des Menschen im Produktionsprozess – wie auch in vielen anderen Arbeits- und Lebensbereichen – derzeit eher gedämpft sind. Um die Notwendigkeit menschlicher Kontrolle über technische Prozesse zu begründen, sollte allerdings nicht auf Lücken und Mängel bestehender technischer Systeme verwiesen werden, da damit genau die Sicht unterstützt wird, dass Menschen in hochautomatisierten Systemen bestenfalls Lückenbüsserfunktionen übernehmen können. Eine nachhaltige Förderung menschengerechter Technikgestaltung kann nur erreicht werden, wenn es gelingt, das Ziel der Technikentwicklung auf die – in ihrer interdisziplinären Komplexität schwierigere – Aufgabe der Gestaltung des Zusammenwirkens von Mensch und Technik statt des Ersatzes von Menschen durch Technik zu richten.

Eine Strategie, die explizit menschliche und technische Funktionen in einem System zu identifizieren und zu gestalten versucht, beruht auf dem *Vergleich der Leistungsfähigkeit* von Mensch und Technik. Entscheidungen über die Aufgabenverteilung zwischen Mensch und Technik werden auf der Grundlage von Annahmen über menschliche Stärken und Schwächen sowie technische Potentiale getroffen (z.B. Fitts, 1951). Der Mensch zeichnet sich besonders durch seine hochausgebildete Sensorik, seine Improvisationsfähigkeit sowie seine Fähigkeit, unscharf definierte Probleme zu lösen, aus. Seine Schwächen sind vielfach gerade die Stärken der Technik, besonders Geschwindigkeit, exakte Wiederholung ohne Ermüdung und Lösung sehr komplexer Probleme, wobei die Technik als Problemlöser allerdings höchstens dann besser abschneidet, wenn die Probleme sehr klar strukturiert und damit auf der Basis von Algorithmen lösbar sind. Mit zunehmender Leistungsfähigkeit der Technik werden die Aufgaben des Menschen auf die der „supervisory control“ reduziert. Im Extremfall, bei sehr hoher Automatisierung und einer Arbeitsteilung zwischen Menschen, die Planung und Programmierung von Überwachung und Prozesseingriffen trennt, entstehen allerdings auch bei dieser Strategie Arbeitstätigkeiten, die mit den bereits erwähnten Ironien der Automation behaftet sind: Technische Systeme werden entwickelt, um Auswirkungen menschlicher Unzulänglichkeiten möglichst zu vermeiden; sobald aber das technische System Mängel aufweist, soll der Mensch rasch und fehlerfrei eingreifen können.

Die vierte in Tabelle 2 erwähnte Strategie unterscheidet sich grundlegend von allen anderen, weil hier die menschlichen Aufgaben in einem Arbeitssystem im Zentrum stehen. Systemgestaltung aus dieser Perspektive hat in erster Linie Forderungen an *menschengerechte und motivierende Arbeitsgestaltung* zu erfüllen. Die Aufgaben sollen so zwischen Mensch und Technik verteilt werden, dass die dem Menschen zugeordneten Aufgaben diesen Anforderungen genügen und das technische System die übrigen Funktionen ausübt sowie den Menschen bei der Ausübung seiner Funktionen unterstützt. Auf diese Weise werden menschliche Aufgaben explizit gestaltet und sind nicht „Abfallprodukt“ der Technikgestaltung. Nachteilig kann bei dieser Strategie allerdings sein, dass technische Möglichkeiten für die Unterstützung des Menschen zu wenig genutzt werden, da die Interaktion zwischen Mensch und Technik unzureichend berücksichtigt wird.

Die im Vergleich zur Mechanisierung weit grössere Flexibilität von Informationstechnologien in Verbindung mit den gleichzeitig höheren Anforderungen an die organisationale Flexibilität, die diese flexiblen Technologien – aber auch die zunehmend komplexeren Umweltbedingungen – stellen, bildet die Basis für die letzte Strategie. Aufgaben werden so zwischen Mensch und Technik verteilt, dass sie auch in sehr dynamischen Prozessen und Umwelten *situationsangemessenes Handeln* des Menschen ermöglichen. Zentral ist bei dieser fünften Strategie, dass Aufgaben nicht notwendigerweise fix dem Menschen oder der Technik zugeteilt werden, sondern eine flexible und dynamische Aufgabenverteilung – zum Beispiel in Abhängigkeit von der Belastung des Menschen oder der Komplexität des Produktionsauftrags – vorgenommen wird. Wie Clegg, Ravden, Corbett & Johnson (1989) betont haben, ist mit dieser Möglichkeit die Frage der Funktionsverteilung aber nicht beantwortet, sondern stellt sich auf andere Weise, indem entschieden werden muss, für welche Funktionen diese Möglichkeit geschaffen und in welcher Weise sie genutzt und ihre Nutzung unterstützt werden soll (vgl. z.B. die Untersuchungen zur Wechselwirkung zwischen der Nutzung flexibler Allokation durch den Operateur und seinem Vertrauen in das technische System von Lee & Moray, 1992). Hinzu kommt, dass diese Strategie ein Verständnis von technischer Machbarkeit erfordert, das nicht von der zentralen Planbarkeit und Steuerbarkeit von Arbeitssystemen und damit Algorithmisierbarkeit von Arbeitsprozessen ausgeht, sondern Technik auf allen Ebenen einer Organisation als Unterstützung für situationsangemessenes Handeln von Menschen in einer dynamischen Umwelt begreift. Wie schwierig ein solches Umdenken ist, zeigt sich beispielsweise darin, dass schon einfachste Grundsätze einer ergonomischen Gestaltung von Technik aufgrund vielfältiger, hoher Barrieren